舍内空气质量对肉鸡健康影响的研究进展

孙永波　王　亚　萨仁娜*　张宏福

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：随着畜禽规模化养殖生产的发展，环境对畜禽健康的影响愈发突出。高密度、集约化饲养导致舍内微生物、粉尘、有害气体等浓度升高，空气质量不断下降。长期生长在低质量空气环境中，导致肉鸡气管炎、肉鸡呼吸道综合征等呼吸道疾病多发，间接降低机体的生长性能和免疫功能。加强研究舍内空气污染物对畜禽健康的危害，并探索改善畜禽舍空气质量的有效措施，对我国畜牧业的健康发展具有重要意义。本文主要通过综述舍内微生物、粉尘、氨气等污染物及其危害和应对措施，为深入研究空气污染物对肉鸡健康影响的作用机制以及合理调控舍内空气质量提供理论依据。

关键词：空气质量；肉鸡；健康

中图分类号：S851　　　　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　　　文章编号：

畜禽的生长需要适宜的环境，舍内环境状况直接影响动物的健康与经济效益。在现代肉鸡养殖过程中，环境因素对畜禽健康的影响越来越突出。有研究报道，遗传育种、营养以及环境是影响畜牧生产的三大主要因素，其中环境所占比例高达25%[1]。由于对养殖环境不够重视，会导致鸡只易于发病，且发病后难以控制，造成严重的经济损失。养重于防，防重于治，鸡场要想获得好的经济效益，必须加强对养殖环境的控制。其中，舍内的空气质量是肉鸡健康生长的关键因素。舍内空气质量的优劣直接影响到畜禽的生产性能以及生产效益。舍内空气中的氨气、硫化氢等有害气体，有害微生物以及粉尘等，能够降低肉鸡的免疫功能，导致气管炎、呼吸道病综合征等呼吸道疾病的发生，降低经济效益[2]。改善舍内空气质量能够在一定程度上提高产品质量和经济效益。因此，加强对空气质量与动物健康的研究，积极改善畜禽舍的空气质量对我国畜牧业的发展具有重要意义。本文通过总结和分析舍内主要空

收稿日期：2017-10-18

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0500509）；现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-42)；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

作者简介：孙永波（1991-），男，山东广饶人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业，E-mail: ybsun2014@163.com

*通信作者：萨仁娜，副研究员，硕士生导师，E-mail: sa6289@126.com

气质量指标及其对肉鸡健康的影响以及改善畜禽舍空气质量的措施，旨在为促进肉鸡绿色养殖，提质增效的发展和畜禽舍空气质量评价模型的研发以及评价标准的制订提供理论依据。

1 空气质量概述

肉鸡的健康生长离不开舍内空气，舍内空气质量状况直接影响肉鸡的生长性能、免疫功能及产品质量等[3]。空气质量差会降低肉鸡免疫功能，引发呼吸道疾病等，特别是空气中的氨气、硫化氢等有害气体，微生物及其代谢产物如内毒素等，易引起气源性传染病的发生，严重危害动物健康和生产能力[4-5]。冬、春季节肉鸡多发的呼吸道疾病成为规模化养殖场棘手的问题，此病发病率高且难以控制，其原因主要是舍内的空气质量差[6]。畜禽舍内空气质量越来越受到重视，农业部颁布的《畜禽场环境质量标准》（NY/T 388-1999）明确规定雏禽舍内氨气浓度不超过 10 mg/m^3，硫化氢浓度不超过 2 mg/m^3，成禽舍内氨气浓度不超过 15 mg/m^3，硫化氢浓度不超过 10 mg/m^3；二氧化碳浓度不超过 1 500 mg/m^3；可吸入颗粒物（PM10）不超过 4 mg/m^3；总悬浮颗粒物（TSP）不超过 8 mg/m^3。2006 年，美国开展“国家（畜牧业）气体排放监测”项目，开始系统研究畜禽场的空气污染物及其危害。调查研究畜禽舍内的空气质量与动物健康的关系，探索有效易行的途径控制畜禽舍空气质量，减少环境中有害气体、粉尘、病原微生物等，改善鸡舍内环境空气质量，对我国畜禽健康生长有着重要意义。

2 空气质量指标

2.1 空气微生物

禽舍内存在大量的微生物，主要包括葡萄球菌属、肠球菌、弯曲杆菌、沙门菌、产气荚膜梭菌和大肠杆菌等[7]。研究禽舍空气中微生物的浓度或某些致病菌的组成及浓度，是评价舍空气质量的一个有效指标。Vučemilo 等[8]研究报道，禽舍内空气中细菌浓度随着肉鸡日龄的增加而增加，在肉鸡生长后期，空气微生物污染程度显著增加，5 周龄时空气中细菌浓度达 6.40×10^6 CFU/m^3。Agranovski 等[9]研究报道，肉鸡舍内空气中细菌浓度在（0.11～6.38）$\times10^6$ CFU/m^3，其中革兰氏阳性菌占 85%；真菌浓度在（4～620）$\times10^3$ CFU/m^3，主要有芽枝霉菌属、曲霉菌属、青霉菌属和镰刀菌属等；革兰氏阴性菌虽然占的比例较小，但其包含大量的条件性致病菌，如大肠杆菌、假单胞菌、巴氏杆菌和奈瑟氏菌等。微生物附着在粉尘、气雾等颗粒上形成微生物气溶胶，微生物气溶胶可以借助空气介质扩散和传输，通过呼吸道黏膜等侵入机体，导致动物机体免疫负荷过重、对疫苗的免疫应答力下降、抗病力降低和易

感性增强等[10-11]。张红双等[12]研究报道，鸡舍空气中细菌、真菌浓度升高，显著降低肉鸡新城疫抗体效价，降低肉鸡对疫苗的免疫应答能力。薛俊龙等[13]通过 Anderson-6 微生物采样器对肉鸡舍内微生物研究表明，鸡舍内细菌气溶胶主要存在 6 级空气微生物采样器的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级，表明鸡舍内细菌主要危害肉鸡上呼吸道，在Ⅳ、Ⅴ和Ⅵ级上也存在一部分微生物，能够进入下呼吸道，损伤肺脏。此外，许多致病菌都能够产生内毒素，长期在高浓度气载内毒素环境中能够引起禽类中毒，发育迟缓、免疫功能降低、导致多种呼吸道疾病等。Zuker 等[14]研究报道，内毒素可以导致禽类呼吸道疾病如恶性肺炎、呼吸道阻塞等的发生。

2.2 粉尘

鸡舍内的粉尘、颗粒物（particulate matter）主要来自于饲料，粪便，鸡呼吸、咳嗽、鸣叫时产生的飞沫以及皮肤、羽毛脱落，空气中的微生物和真菌[15]。Zhao 等[16]监测表明传统笼养鸡舍日平均 PM10 和细颗粒物（PM2.5）浓度分别为 0.57∽0.61 mg/m^3、0.033∽0.037 mg/m^3。禽舍中颗粒物成分复杂，含有重金属元素、氨气、硫化氢、挥发性的有机化合物、内毒素、细菌、病毒等物质[17]。粉尘经动物呼吸作用进入呼吸系统，直径大于 10 μm 的颗粒物被阻挡在鼻腔，对鼻腔黏膜发生刺激作用，大多数 PM10 都会粘在气管壁或肺壁上，而 PM2.5 可以深达肺泡并沉积，进入血液循环，可能导致肺部疾病，如肺气肿、肺癌等[18-19]。粉尘是氨气、硫化氢等有害气体以及细菌、病毒等微生物的载体，并能与其一起形成微生物气溶胶，进而随呼吸进入畜禽呼吸系统，对呼吸道黏膜产生刺激并引起炎症，不断吸入呼吸道的粉尘能够持续地将病原微生物载入发炎区域，引发上呼吸道疾病、慢性支气管炎及其他呼吸道传染病的发生与传播[20]。研究表明，粗颗粒物主要通过 Toll 样受体-4(TLR4)引起炎症反应，PM2.5 主要通过 Toll 样受体-2（TLR2）引起巨噬细胞表达肿瘤坏死因子-α（TNF-α）和白细胞介素-6（IL-6）[21]。颗粒物还能直接作用于呼吸道黏膜屏障，降低黏膜抗菌肽防御素 2 和防御素 3 的表达，局部解除对病原微生物生长的抑制作用[22]。曲红梅[23]研究报道，PM2.5 可致大鼠肺组织细胞和生物膜损伤，引起体液免疫应答和局部黏膜免疫的变化，并能从不同途径抑制非特异性免疫功能。史云洁等[24]报道，细颗粒物导致大鼠等动物气管、肺脏等产生氧化应激及炎症反应，并破坏线粒体及细胞结构，造成细胞损伤。此外，粉尘能够吸附氨气、臭气混合物等，加剧对肉鸡的危害[17]。

2.3 有害气体

2.3.1 氨气

在高密度密闭舍饲条件下，肉鸡舍内会产生大量有毒有害气体，其中氨气危害最大[25]。氨基酸在体内降解生成尿酸、尿素被排到动物胃肠道，在微生物脲酶的作用下生成氨气，同时垫草及其他含氮物质在脲酶作用下也生成氨气[26]。张晓迪等[27]研究发现，1~42 日龄，白羽肉鸡平均每只鸡排放氨气 2 778 mg，平均氨气排放率为 66 mg/（只•d）。研究表明，氨气浓度过高会影响脑神经和肌肉细胞的新陈代谢，导致氨中毒，加剧机体肝脏等器官解毒，消耗大量的能量，进而降低肉鸡的生长性能[28]。研究报道，过高浓度的氨气会影响肉鸡福利和人类健康，降低肉鸡的生产性能[29-31]，损害肉鸡的呼吸道[32]，提高肉鸡气囊炎和角膜结膜炎等疾病的发病率[33]。Charles 等[34]研究报道，鸡舍用 102 mg/m^3 的高浓度氨气持续处理 1 周，显著降低肉鸡的平均日采食量和日增重。Zhang 等[35]研究报道，75 mg/m^3 的氨气导致肉鸡肝脏脂类合成、氨基酸分解、氧化应激和肝损伤相关蛋白上调 21 个，能量代谢、细胞骨架结构、免疫及炎症反应和解毒功能相关蛋白下调 17 个。孟丽辉等[36]研究报道，氨气显著影响了肉鸡的脚垫评分、跗关节评分及步态评分，随着舍内氨气浓度的升高，加大了肉鸡羽毛污损、脚垫感染以及跛行等状况的发生率及严重程度。肉鸡呼吸系统对氨气的刺激较为敏感，长期氨气刺激会导致气管和肺部组织发生病变甚至坏死。李聪[37]研究发现，随着鸡舍氨气浓度升高，肉鸡气管组织中紧密连接蛋白 1(claudin1)和黏蛋白 2（*MUC*2）的 mRNA 表达量皆显著降低，气管组织细胞半胱氨酸蛋白酶 3（caspase-3）的 mRNA 表达量显著升高，表明氨气应激破坏了肉鸡气管组织的黏膜屏障作用，诱导肉鸡气管组织细胞发生调亡。动物长时间处于氨气刺激下，气管和肺部组织会发生病变甚至坏死，严重时造成细支气管的上皮层堵塞、水肿、肺不张、出血和肺泡气肿，导致呼吸机能紊乱[38]。张西雷等[39]研究报道，0.77 g/m^3 氨气导致肉鸡气管上皮细胞脱落坏死和出血，肺脏明显出血和瘀血。熊嫣等[40]研究报道，氨气刺激导致肉鸡气管发生氧化应激损伤和组织病理损伤，导致气管免疫应答和肌肉收缩过程的紊乱，提高黏蛋白分泌量，引起呼吸道阻塞。以上研究表明，氨气严重危害肉鸡健康，降低舍内氨气浓度，改善舍内空气质量，势在必行。

2.3.2 硫化氢

微生物在厌氧环境中，还原硫酸盐和分解畜禽粪便中含硫有机质产生大量无色的、具有强烈臭鸡蛋气味的腐蚀性有毒气体硫化氢。硫化氢能够强烈刺激动物黏膜，引起眼结膜炎、

鼻炎、气管炎等炎症，甚至肺水肿等[41]。硫化氢与黏液中的钠离子结合生成硫化钠，对动物黏膜产生刺激作用，硫化氢进入呼吸道，会刺激鼻腔，引起鼻炎，还会损伤气管；硫化氢进入肺部造成气管炎，肺部水肿；经常吸入低浓度的硫化氢，会导致植物性神经紊乱；硫化氢进入血液，会阻碍机体对氧气运输，使动物机体缺氧，家畜的体质变弱，免疫力下降[42-43]。孟庆平[44]研究报道，硫化氢能够降低肉鸡采食量和日增重，导致肉鸡气管黏膜黏液分泌增加，增加纤毛受损率及肺泡的破裂，降低免疫力和肉品质。

2.3.3 臭气

畜禽场臭气是指对动物和人体有害并使人的嗅觉产生厌恶感的气体物质，主要包括挥发性脂肪酸、吲哚类和酚类、氨和挥发性胺类及挥发性含硫化合物、粪臭素等。畜禽的集约化养殖模式，饲养密度较高，通风不良，粪便不能及时清理及微生物分解作用，造成恶臭气味过浓。这些恶臭物质多数是易溶于水的气体，容易吸附在人及动物的呼吸系统黏膜上，能够降低动物的免疫功能，导致呼吸系统疾病等[45]。

2.3.4 二氧化碳等

二氧化碳主要来源于舍内肉鸡的呼吸作用，粪便和垫料中的微生物分解也可产生部分二氧化碳。鸡舍内二氧化碳本身并没有毒性，但是二氧化碳浓度过高会导致舍内氧气浓度过低，鸡群长期氧气不足容易导致慢性中毒，降低免疫功能和采食量[46]。二氧化碳的释放量主要取决于舍内肉鸡数量，浓度偏高，表明鸡舍内换气不良，空气质量差，含氧量下降，会影响鸡群机体的代谢。二氧化碳的浓度表明了畜舍通风状况和空气的污浊程度，当二氧化碳浓度增加时，其他有害气体浓度也增高，因此，二氧化碳浓度通常被作为监测空气污染程度的可靠指标[47]。此外，在密闭式舍内，冬季使用煤炭取暖，煤炭燃烧不完全，可能产生大量一氧化碳，对神经系统、血液系统具有毒害作用。一氧化碳进入肉鸡体内与血液中血红蛋白结合可使血液的带氧功能受阻，引起机体急性缺氧，导致神经系统、血液循环系统、呼吸系统等功能紊乱甚至死亡[48]。

3 改善畜禽舍空气质量的措施

3.1 加强舍内空气质量监测和环境管理

只有了解舍内空气状况，才能及时地进行合理调控。现代化的畜禽舍环境监测系统将多种环境指标传感器结合在一起，实行舍内环境多点连续监测，能够实时监测二氧化碳、氨气

和硫化氢等多种空气质量指标，对于及时改善舍内空气质量意义重大。王欢等[49]设计了基于无线传输的鸡舍环境远程监测系统，能够实时监测二氧化碳、氨气等指标，为鸡舍管理人员提供科学的管理依据，提高了管理效率。朱凤舞等[50]基于 ZigBee 和 GPRS 技术开发了一套鸡舍有害气体监控系统，能够实时监测二氧化碳、氨气和硫化氢三大有害气体，操作方便、快捷、准确。通过空气质量监测，及时地了解到舍内空气质量状况，当空气质量下降时，要加强管理来改善空气质量。通风换气能减少鸡舍中的有害气体、粉尘颗粒和细菌、病毒等微生物，是改善空气质量最直接有效的方式，在通风的同时也要兼顾舍内温度。及时清除舍内排泄物，避免粪便长期堆积发酵，从而减少氨气和硫化氢等有害气体的排放。畜禽舍合理消毒，能够减少空气中微生物的数量以及粉尘浓度，从而改善空气质量。王静等[51]研究表明，带鸡消毒可以显著降低鸡舍内空气中细菌浓度，消毒后 1 h 鸡舍内空气细菌浓度显著降低。

3.2 调整饲粮结构

饲料中营养物质未被完全消化、吸收是畜禽舍有害气体以及恶臭产生的主要原因。合理调整饲粮的结构，提高畜禽饲料的养分利用率，可以减少畜禽舍内氨气、硫化氢的产生，从而改善空气质量。Ferket 等[52]研究表明，采用理想蛋白质模式，利用合成氨基酸添加剂平衡饲粮氨基酸，能够提高蛋白质的利用率，从而减少排泄物中氨气和硫化氢的产生。Ferguson 等[53]发现，降低饲料中粗蛋白质含量可使鸡舍氨气浓度降低 31%。Roberts 等[54]研究报道，饲喂蛋鸡高纤维饲粮能够降低排泄物中氨气的逸出。以上研究表明，通过调整饲粮结构能够有效地改善舍内空气质量。

3.3 使用饲料添加剂

常用的饲料添加剂主要有益生菌、益生元及复合微生态制剂，植物提取物，中草药添加剂，酶制剂及酸化剂等。益生菌、益生元及复合微生态制剂能够提高饲料转化率、改善肠道微生物结构，从而可以减少氨气等有害气体的排放。Hossain 等[55]研究报道，饲粮中添加 0.1%的复合益生菌（含枯草芽孢杆菌、丁酸梭菌、嗜酸乳酸杆菌）可显著减少氨气的排放量。王晓霞等[56]研究表明，饲料中添加 0.3%的果寡糖和 0.1%的枯草芽孢杆菌可以显著减少氨气、硫化氢的排放。仝永娟等[57]研究报道，舍内喷洒复合芽孢杆菌菌液能够显著降低肉鸡舍内空气中大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的数量。栾素军等[58]研究报道，喷雾制剂能显著降低鸡舍空气及排泄物的总需氧菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌数量，净化鸡舍微生物环境。利用

植物提取物降低畜禽舍内的有害气体浓度成为目前研究的热点，植物提取物不仅能够抑制脲酶的活性，而且能够阻断微生物合成脲酶的途径，使脲酶的分泌量减少，从而抑制排泄物中尿素分解产生氨气。喻洋等[59]研究表明，樟科植物提取物、丝兰属植物提取物等能够降低畜禽排泄物中氨气和硫化氢等有害气体的排放。Li 等[60]研究报道，饲粮中添加植物杀菌素可显著降低氨气的排放量，随植物杀菌素浓度增高，氨气的排放量呈显著线性下降。Bostami 等[61]研究报道，饲粮中添加 0.5%的石榴发酵副产品可显著降低舍内氨气、硫化氢浓度。酶制剂如蛋白酶、植酸酶等可以补充动物内源酶，降低饲料中抗营养因子含量，促进动物对营养物质的消化吸收，从而降低粪便中含氮、含硫等等营养物质的含量。张莉平[62]在肉鸡饲粮中添加不同水平的酶制剂，显著降低了空气中微生物的数量和氨气的浓度。酸化剂能够降低肉鸡消化道的 pH，为消化道内酶和微生物提供适宜的环境，促进胃蛋白酶的合成，提高蛋白质的消化率，减少肠道和排泄物的恶臭发生[63]。此外，许多矿物质等比表面积大、孔容大，对氨气、硫化氢、二氧化碳及水分有很强的吸附力，从而可改善畜禽舍空气质量。目前许多矿物质被用于改善畜禽舍空气环境，如沸石、膨润土、凹凸棒石、蒙脱石等，它们能够吸附氨气、硫化氢、二氧化碳、水分子等，可起到抑制有害气体产生和挥发的作用[64]。

3.4 利用空气电净化技术

空间电场的高压电极对空气放电产生的高能带电粒子和微量臭氧能对有害气体进行氧化与分解，而空间电场和高能带电粒子又能抑制有害气体的产生；建立空间电场的高压电极对空气放电产生的高能带电粒子和微量臭氧能对附着在粉尘粒子、飞沫上的病原微生物有效地杀死或灭活[65]。Ritz 等[66]研究报道，利用空间静电系统（electrostatic space charge system，ESCS）能够显著降低鸡舍内粉尘和氨气浓度。杨立强等[67]研究报道，高能光电除臭设备和光电除臭仪均能够显著降低鸡舍氨气浓度、微粒数量和微生物浓度，改善鸡舍空气质量。空气负离子带有负电荷，易与空气中带正电荷的污染物吸引、碰撞、结合、并形成比较大的分子而沉降，具有杀菌、降尘、净化空气的功效。焦洪超等[68]通过在舍内加装人工负离子发生装置，使得鸡舍内需氧菌总数和粉尘浓度显著降低，表明人工负离子能够改善舍内空气质量，促进畜禽健康生长。以上研究表明，电净化技术已成为禽舍空气净化的有效措施，值得进一步研究和推广。

4 小　结

肉鸡场的空气质量不仅影响肉鸡防疫、健康和产品质量，还与人的健康息息相关。加强研究肉鸡舍空气质量与健康的关系，改善舍内空气质量，对于促进肉鸡产业的健康发展有着重要意义。要进一步结合高通量测序技术以及蛋白质组学、转录组学和代谢组等先进技术深入探究舍内空气中微生物、粉尘、有害气体等对畜禽的危害及作用机制，同时运用荟萃分析方法，整合分析微生物、粉尘、有害气体等的作用，为建立肉鸡舍空气质量评价模型及评价标准提供参考。

参考文献：

[1] 袁建敏,张开臣,胡骁飞.环境因素影响肉鸡生长的研究进展[J].家畜生态学报,2007,28(6):135–138.

[2] URBAIN B,PROUVOST J F,BEERENS D,et al.Chronic exposure of pigs to airborne dust and endotoxins in an environmental chamber:technical note[J].Veterinary Research,1996,27(6):569–578.

[3] HOMIDAN A A,ROBERTSON J F,PETCHEY A M.Review of the effect of ammonia and dust concentrations on broiler performance[J].World's Poultry Science Journal,2003,59(3):340–349.

[4] URBAIN B,PROUVOST J F,BEERENS D,et al.Acute effects of endotoxin inhalation on the respiratory tract in pigs:interaction with ammonia[J].Inhalation Toxicology,1996,8(9):947–968.

[5] WHYTE R,WILLIAMSON P,LACEY J.Air pollutant burdens and respiratory impairment of poultry house stockmen[J].Livestock Environment,1993,4:709–717.

[6] 伍清林,金兰梅,周玲玲,等.规模化猪场舍内外空气质量变化的研究[J].中国畜牧兽医,2012,39(11):220–225.

[7] 高敏,贾瑞志,仇天雷,等.畜禽养殖中逸散生物气溶胶特征的研究进展[J].生态与农村环境学报,2015,31(1):12–21.

[8] VUČEMILO M,VINKOVIĆ B,MATKOVIĆ K.Influence of broilers age on airborne pollutants content in poultry house[J].Krmiva,2006,48(1):3–6.

[9] AGRANOVSKI V,REPONEN T,RISTOVSKI Z.Survey of bioaerosol emissions from

australian poultry buildings[C]//European Aerosol Conference 2007.Salzburg:Abstract,2007.

[10] HO J,DUNCAN S.Estimating aerosol hazards from an anthrax letter[J].Journal of Aerosol Science,2005,36(5/6):701–719.

[11] 仝永娟.复合芽孢杆菌制剂对鸡舍空气微生物及肉鸡免疫功能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[12] 张红双,秦梅,柴同杰,等.不同养殖环境对商品肉鸡免疫功能的影响[J].华中农业大学学报,2011,30(1):34–38.

[13] 薛俊龙,刘源,王志宇,等.智能化密闭商品肉鸡舍冬季生物气溶胶分布研究[J].中国家禽,2017,39(5):39–44.

[14] ZUCKER B A,TROJAN S,MÜLLER W.Airborne gram-negative bacterial flora in animal houses[J].Journal of Veterinary Medicine,Series B,2000,47(1):37–46.

[15] 刘会娟.鸡舍内粉尘控制方法初探[J].畜牧与兽医,2013,45(10):58–60.

[16] ZHAO Y,SHEPHERD T A,LI H,et al.Environmental assessment of three egg production systems–Part I:Monitoring system and indoor air quality[J].Poultry Science,2015,94(3):518–533.

[17] CAMBRA-LÓPEZ M,AARNINK A J A,ZHAO Y,et al.Airborne particulate matter from livestock production systems:A review of an air pollution problem[J].Environmental Pollution,2010,158(1):1–17.

[18] 汪开英,代小蓉.畜禽场空气污染对人畜健康的影响[J].中国畜牧杂志,2008,44(10):32–35.

[19] XING Y F,XU Y H,SHI M H,et al.The impact of $PM_{2.5}$ on the human respiratory system[J].Journal of Thoracic Disease,2016,8(1):E69–E74.

[20] DAVID B,MEJDELL C,MICHEL V,et al.Air quality in alternative housing systems may have an impact on laying hen welfare.Part II—Ammonia[J].Animals,2015,5(3):886–896.

[21] 张宏福.环境生理在畜禽健康养殖中的研究与应用[J].中国家禽,2015,37(24):1–4.

[22] RIVAS-SANTIAGO C E,SARKAR S,CANTARELLA P,et al.Air pollution particulate matter alters antimycobacterial respiratory epithelium innate immunity[J].Infection and Immunity,2015,83(6):2507–2517.

[23] 曲红梅.$PM_{2.5}$对大鼠的肺损伤及其机制的研究[D].硕士学位论文.兰州:兰州大学,2006.

[24] 史云洁,王沛,马姗婕,等.大气细颗粒物对实验动物氧化应激及炎症反应研究进展[J].中国公共卫生,2017,33(1):35–38.

[25] CARLILE F S.Ammonia in poultry houses:a literature review[J].Worlds Poultry Science Journal,1986,40(2):99–113.

[26] 彭焕伟,沈亚欧.畜禽生产中氨的危害及防治措施[J].饲料工业,2005,26(13):54–59.

[27] 张晓迪,卢庆萍,张宏福,等.利用呼吸舱测定肉鸡氨气排放的研究[J].畜牧兽医学报,2014,45(2):249–254.

[28] 魏凤仙,胡骁飞,张敏红,等.相对湿度和氨气应激对肉仔鸡血氨水平及细胞因子含量的影响[J].动物营养学报,2013,25(10):2246–2253.

[29] 李聪,卢庆萍,唐湘方,等.不同氨气浓度对肉鸡生长性能及肉质性状的影响[J].中国农业科学,2014,47(22):4516–4523.

[30] BEKER A,VANHOOSER S L,SWARTZLANDER J H,et al.Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance[J].The Journal of Applied Poultry Research,2004,13(1):5–9.

[31] MILES D M,BRANTON S L,LOTT B D.Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers[J].Poultry Science,2004,83(10):1650–1654.

[32] AZIZ T,BARNES H J,郭传凤.氨气对家禽的危害[J].国外畜牧学(猪与禽),2010,30(5):33–35.

[33] KRISTENSEN H H,WATHES C M.Ammonia and poultry welfare:a review[J].World's Poultry Science Journal,2000,56(3):235–245.

[34] CHARLES D R,PAYNE C G.The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. Ⅱ .Effects on the performance of laying hens[J].British Poultry

Science,1966,7(3):177–187.
[35] ZHANG J Z,LI C,TANG X F,et al.High Concentrations of atmospheric ammonia induce alterations in the hepatic proteome of broilers (*Gallus gallus*):an iTRAQ-based quantitative proteomic analysis[J].PLoS One,2015,10(4):e0123596.
[36] 孟丽辉,李聪,卢庆萍,等.不同氨气浓度对肉鸡福利的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(8):1574–1580.
[37] 李聪.不同浓度氨气对肉鸡生长性能及呼吸道黏膜屏障的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.
[38] BOYD E M,MACLACHLAN M L,PERRY W F.Experimental ammonia gas poisoning in rabbits and cats[J].Journal of Industrial Hygiene and Toxicology,1944,26(1):29–34.
[39] 张西雷,张莉平,王春民,等.试验性肉鸡氨气急性中毒的病理学研究[J].家畜生态学报,2006,27(1):63–65.
[40] 熊嫣,唐湘方,孟庆石,等.高氨刺激下参与免疫应答和肌肉收缩过程的肉鸡气管蛋白差异表达——基于 iTRAQ 标记技术的差异蛋白质组学研究[J].中国科学:生命科学,2016,46(11):1267–1276.
[41] GUARRASI J,TRASK C,KIRYCHUK S.A systematic review of occupational exposure to hydrogen sulfide in livestock operations[J].Journal of Agromedicine,2015,20(2):225–236.
[42] 孙建忠.畜禽圈舍有害气体对畜禽及环境的危害[J].畜禽业,2015(1):36–37.
[43] 张莹莹,刘春青,刘晓辉,等.畜禽舍有害气体的来源及其常用消毒方法[J].饲料博览,2014(3):11–13.
[44] 孟庆平.不同硫化氢浓度对肉仔鸡生长性能、免疫功能和肉质的影响[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2009.
[45] 张鸿郭,周少奇,石永.恶臭气体微生物处理技术研究进展[J].四川环境,2006,25(3):95–100.
[46] 魏凤仙,胡骁飞,李绍钰,等.肉鸡舍内有害气体控制技术研究进展[J].中国畜牧兽医,2011,38(11):231–234.

[47] 黄华,牛智有.基于PIC18F2580的畜禽舍有害气体环境控制系统[J].测控技术,2009,28(4):49–52,57.

[48] 刘希颖,赵越.畜舍中有毒有害气体对畜禽的危害及防治[J].饲料工业,2004,25(10):58–60.

[49] 王欢,李骅,尹文庆,等.基于无线传输的鸡舍环境远程监测系统[J].南京农业大学学报,2016,39(1):175–182.

[50] 朱凤舞,梁天航.基于ZigBee和GPRS鸡舍有害气体监控系统的设计[J].农业与技术,2016,36(7):63–65.

[51] 王静,谷巍,代惠洁.规模化养鸡场鸡舍内空气和饮水细菌含量检测[J].家畜生态学报,2011,32(3):71–74.

[52] FERKET P R,VAN HEUGTEN E,VAN KEMPEN T A T G,et al.Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants[J].Journal of Animal Science,2002,80(2S):168–182.

[53] FERGUSON N S,GATES R S,TARABA J L,et al.The effect of dietary crude protein on growth,ammonia concentration,and litter composition in broilers[J].1998,77(10):1481–1487.

[54] ROBERTS S A,XIN H,KERR B J,et al.Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying-hen manure[J].Poultry Science,2007,86(8):1625–1632.

[55] HOSSAIN M M,BEGUM M,KIM I H.Effect of *Bacillus subtilis*,*Clostridium butyricum* and *Lactobacillus acidophilus* endospores on growth performance,nutrient digestibility,meat quality,relative organ weight,microbial shedding and excreta noxious gas emission in broilers[J].Veterinarni Medicina,2015,60(2):77–86.

[56] 王晓霞,易中华,计成,等.果寡糖和枯草芽孢杆菌对肉鸡肠道菌群数量、发酵粪中氨气和硫化氢散发量及营养素利用率的影响[J].畜牧兽医学报,2006,37(4):337–341.

[57] 仝永娟,萨仁娜,张宏福,等.三株芽孢杆菌抑菌活性分析及对肉鸡舍空气微生物的影响[J].中国农业科学,2013,46(20):4344–4353.

[58] 栾素军,孙永波,萨仁娜,等.芽孢杆菌喷雾制剂对鸡舍环境微生物的影响[J].西北农林

科技大学学报（自然科学版）,2017,45(10):21–29.

[59] 喻洋,李晓燕,王旭平,等.樟科提取物、腐植酸及其复合添加对仔猪粪尿中氨排放的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(9):61–64.

[60] LI H,ZHAO P Y,LEI Y,et al.Phytoncide,phytogenic feed additive as an alternative to conventional antibiotics,improved growth performance and decreased excreta gas emission without adverse effect on meat quality in broiler chickens[J].Livestock Science,2015,181:1–6.

[61] BOSTAMI A B M R,AHMED S T,ISLAM M M,et al.Growth performance,fecal noxious gas emission and economic efficacy in broilers fed fermented pomegranate byproducts as residue of fruit industry[J].International Journal,2015,3(3):102–114.

[62] 张莉平.微生态酶制剂对鸡舍空气净化的研究[J].中国畜牧兽医,2010,37(7):227–229.

[63] 张土保,许英梅,安立龙,等.养殖场中的恶臭及其营养控制措施[J].饲料工业,2009,30(7):48–52.

[64] 史明雷,郑兰,郭孝烨,等.载铜硅酸盐纳米微粒对黄羽肉鸡肠道菌群、氮代谢和排泄物氨逸失的影响[J].动物营养学报,2013,25(8):1843–1850.

[65] 张义俊,王万章,李保谦,等.畜禽舍环境控制技术[J].中国家禽,2007,29(5):24–26.

[66] RITZ C W,MITCHELL B W,FAIRCHILD B D,et al.Improving in-house air quality in broiler production facilities using an electrostatic space charge system[J].The Journal of Applied Poultry Research,2006,15(2):333–340.

[67] 杨立强,施正香,赵芙蓉,等.不同空气净化设备对鸡舍空气净化效果的比较研究[J].中国畜牧杂志,2017,53(5):127–131.

[68] 焦洪超,孙利,崔灿,等.人工负离子对鸡舍空气环境净化作用研究[J].畜牧兽医学报,2017,48(8):1543–1550.

Research Progress on the Effect of Air Quality in Poultry Houseing on Broiler Health

SUN Yongbo WANG Ya SA Renna* ZHANG Hongfu

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of*

*Corresponding author, professor, E-mail: sa6289@126.com (责任编辑 菅景颖)

Agricultural Science, Beijing 100193, China)

Abstract: With the development of large-scale livestock and poultry production, the impact of the environment on the health of livestock and poultry has become increasingly prominent. High density, intensive feeding leads to increased concentrations of microorganisms, dust, harmful gases and so on, and the quality of the air decreased continuously. Long-term growth in low quality air environment, leading to broiler bronchitis, broiler respiratory syndrome and other respiratory diseases, indirectly reduce the body's growth performance and immune function. It is of great significance for the healthy development of China's animal husbandry to study the harm of air pollutants on livestock and poultry health and to explore the effective measures to improve the air quality of livestock and poultry houses. In this paper, we mainly summarize the pollutants such as microorganisms, dust, ammonia and their damage and countermeasures, and provide a theoretical basis for further study on the mechanism of air pollutants on broiler health and the reasonable regulation of indoor air quality.

Key words: air quality; broiler; health